专利合作网络小世界特性对企业技术创新绩效的影响研究*

■ 关鹏[1,2] 王曰芬[2] 傅柱[3] 叶龙生[1]

[1] 巢湖学院经济与法学学院 合肥 238024 [2]南京理工大学经济管理学院 南京 210094

[3] 江苏科技大学经济管理学院 镇江 212003

摘 要:[目的/意义]在专利合作网络小世界特性的调节下,分析企业自我中心网络特征对企业技术创新绩效的影响,为企业技术创新管理提供依据。[方法/过程]利用企业之间共同专利权人关系构建专利合作网络,以企业申请并授权的专利数量作为企业技术创新绩效的度量,以企业自我中心网络规模、自我中心网络密度和企业合作对象作为自变量,以专利合作网络小世界特性作为调节变量,构建影响企业技术创新绩效的理论模型,以语音识别技术领域企业作为研究样本进行实证分析。[结果/结论]通过实证分析揭示企业自我中心网络特征对企业技术创新绩效的影响,理清专利合作网络小世界特性影响企业技术创新绩效的机制,结果表明小世界网络通过其高聚类系数增强企业自我中心网络密度对企业创新绩效的影响。针对分析结果,提出提升企业技术创新绩效的对策和建议。

关键词:专利 合作网络 自我中心网络 小世界 技术创新绩效

分类号:C93

DOI:10.13266/j.issn.0252-3116.2021.18.011

1 引言

知识经济背景下,技术创新成为企业提高核心竞争力的重要战略支撑。技术创新表现出的复杂性和多学科性、高投入和高风险、市场引入时间长、国际化以及市场的脆弱性等诸多因素,促使企业之间成立技术创新合作网络[1-2]。企业利用社会网络开展技术创新合作,从外界获取知识、技术、人才、资金等创新要素,对企业解决重大技术挑战、提高共同利益、促进技术进步等至关重要[3]。

专利是衡量企业技术创新绩效的重要指标[4-5]。面临日益缩短的产品生命周期和激烈竞争,企业越来越重视专利合作,通过购买专利、技术许可和合作研发专利等方式,提高核心竞争力[6]。已有研究发现,在专利合作网络中同时表现出高集群性和高覆盖范围(即:到其他节点的平均路径长度较短)的企业,将具有更多的专利创新产出[7];占据网络中心位置或结构洞的专利发明人能更好地激发创造力[8],获得更高的引用频次[9]和更多的潜在经济效益[10-11]。实证研究表明,专利合作网络普遍具有小世界特性[12]。在社会网络分析中,网络的小世界特性表现为同时具有较高的聚类系数和较短的路径长度[13],被认为可以提高网络成员间的信息传输效率,从而对合作创新具有积极影响。然而,专利合作网络小世界特性对企业技术创新绩效的影响机制仍不明确,相关研究也较少。在此背景下,本文利用专利共同专利权人关系构建企业间专利合作网络,综合利用社会网络分析、复杂网络和回归分析探索合作网络小世界特性对企业技术创新绩效的影响机制,为企业技术创新管理提供决策依据。

* 本文系安徽省社会科学基金项目"专利合作视角下长三角地区企业技术创新合作网络对创新绩效的影响研究"(项目编号:AHSKQ2020D23)和安徽省高校人文社会科学重点项目"基于专利文本挖掘的区域创新合作网络构建及演化分析——以长三角城市群为例"(项目编号:SK2019A0550)研究成果之一。

作者简介:关鹏(ORCID:0000-0002-2308-3019),副教授,博士,硕士生导师,E-mail:guanpeng1983@163.com;王曰芬(ORCID:0000-0002-7143-7766),教授,博士,博士生导师;傅柱(ORCID:0000-0003-2250-7542),副教授,博士;叶龙生(ORCID:0000-0002-4554-0989),助教,硕士。

收稿日期:2021-04-06 修回日期:2021-06-28 本文起止页码:105-116 本文责任编辑:徐健

2 相关研究

理论上,小世界网络为知识的传播提供了可能性,但互动的管理和参与者的行为可能会使小世界和创新之间的简单关系复杂化[12]。在成功证明小世界网络的存在之后,学者开始探索小世界网络结构特征对组织、行业和更广泛的经济功能的影响[14-15]。当前专利合作网络小世界特性对创新绩效的影响研究主要从宏观、中观和微观三次层面展开。

宏观层面主要关注国际间专利合作网络小世界特性对国家创新绩效的影响。实证研究发现国家之间知识扩散的小世界网络降低了国家之间发展的不平衡[16],国际专利合作对创新数量和质量均具有显著促进作用[17],网络平均路径长度与创新绩效之间存在负相关关系,而网络小世界特性与创新绩效之间存在反U型关系[18]。中国专利合作网络的小世界特性更加明显,但是小世界特性对创新绩效的影响只在部分区域具有显著性,原因是大量国有企业的存在使得小世界路径变长从而影响知识传递效率[19]。

中观层面关注区域间专利合作网络对区域创新绩效的影响。L. Fleming 和 A. L. Juda 等发现小世界高聚集性特征与区域创新绩效之间并没有显著的关系,但较短的平均路径和较大规模网络组元对区域创新绩效有积极影响[20]。赵良杰和宋波发现网络小世界性对技术创新联盟网络短期创新绩效有负向影响,但对其长期创新绩效有正向影响[21]。吴慧和顾晓敏发现上海市医药产业合作创新网络的小世界特性对集群创新绩效产生负面影响[22]。

微观层面关注企业间专利合作网络对创新绩效的影响。现在普遍认为高聚集性和短路径长度对企业创新绩效的影响是倒 U 型的[7]。B. Uzzi 和 J. Spiro 预测合作网络的聚集性和小世界性与百老汇创意艺术家的表现呈倒 U 型关系,而路径长度与艺术创作绩效呈负相关[23]。Y. Shi 等对中国纳米技术领域的专利合作网络的研究发现:路径长度对个体创新绩效没有显著影响,网络聚类系数对个体创新绩效没有显著影响,小世界特性与创新绩效均呈倒 U 形关系,且这种倒 U 形关系的阈值在网络层面上显著较小[24]。

综上所述,小世界特性对创新绩效的影响究竟如何仍然存在争议,相关研究成果并不统一,在国家、地区和行业层面存在较大差异。当前研究主要存在以下几个问题:①当前对专利合作网络的研究较多停留在网络结构属性及其演化分析方面,如结合实证分析揭示专利合作网络具有小世界特性和无标度性等,但是专利合作网络结构属性对个体的影响研究还较为缺乏;②当前研究更加侧重于国家和区域层面[19]的研究和分析,对企业和发明人个体层面的研究较少。可能的原因是企业层面和个体层面的数据处理较为困难,其网络结构特性计算较为复杂;③由于小世界网络具有高聚集性和短路径长度的典型特征,因此普遍认为网络小世界特性会显著增强企业的技术创新绩效。但已有研究发现,小世界网络中的枢纽可能会导致占据这些中心位置的参与者信息过载,从而削弱网络培育参与者创建新联系和新思想的能力[25],并非所有的网络小世界性对创新绩效构成显著影响[26]。因此,小世界特性对企业技术创新绩效的影响机制仍然不明确,理清合作网络小世界特性对技术创新的作用机制非常重要;④当前研究大多将专利合作网络小世界特性作为自变量分析其对企业技术创新绩效的影响。事实上,专利合作网络小世界特性是网络整体属性,而企业在专利合作网络中属于个体,网络整体属性对于个体的影响往往不是直接的,而是通过调节作用,使个体的自我中心网络发生变化,从而达到影响个体的作用。基于以上分析,本文将结合语音识别技术领域实证分析,度量企业间专利合作网络结构属性和企业自我中心网络结构属性,分析专利合作网络小世界特性作为调节变量对企业技术创新绩效的影响机制,以对企业技术创新管理提供决策依据。

3 理论分析与研究假设

根据社会网络理论,社会网络主要分为整体网络和自我中心网络两个分析框架,前者主要反映网络的整体结构特征,后者主要反映个体所维系的社会关系结构特征。企业在专利合作网络中的自我中心网络可看作为企业利用社会网络实现技术创新的重要方式,自我中心网络的结构属性对企业技术创新绩效的影响机制值得深入研究。自我中心网络是相对于整体网络(whole-network)而言的,针对某个人(记作 A),只考虑这个人和他朋友,以及他朋友之间的连边,即得到 A 的自我中心网络(ego-network)[27]。

虽然已有一些从企业层面开展的专利合作网络研究,但这些研究显然没有对以企业为中心的不同特性及类型的合作进行区分,忽视了网络异质性及企业能动性对合作网络的影响[28]。从本质上看,在专利合作网络中,企业主要通过吸引其他企业并与之建立合作关系而实现合作网络的结构作用和功能,从而获取更

多的知识、技术和社会资源等,影响其技术创新绩效,自我中心网络的网络规模和网络密度能够很好的度量这种影响方式[29],而企业选择何种类型的合作对象对其维护在市场中的竞争优势和补充创新所需知识和技术也会产生重要影响。

3.1 企业自我中心网络规模与技术创新绩效

企业自我中心网络规模,指与该企业直接相连的节点数量。社会网络理论认为,社会资本是除了经济资本和人力资本之外,决定个体成功的重要因素。所谓社会资本即个体在社会网络中的可支配性资源,主要包括信息资源和个体行动力或影响力。从社会资本角度分析,自我中心网络规模越大,意味着节点的社会关系资源越多,获得的异质性信息也就越丰富,从而有利于知识创新活动[30]。从信息传播角度分析,自我中心网络规模越大,信息传播的速度越快、范围越广,越容易形成知识流动程度的螺旋上升,从而有利于知识创新活动[31]。随着市场竞争环境日益复杂,企业为了获得技术优势,会不断寻找优质合作伙伴,企业通过与高校、科研院所等开展产学研合作,不但能够降低技术创新成本、分散创新风险,还能够通过知识溢出效应获得高校和科研院所的创新思想和知识,从而促进企业技术创新绩效。因此,本文提出以下假设:

假设1:企业自我中心网络规模对技术创新绩效有正向影响。

3.2 企业自我中心网络密度与技术创新绩效

网络密度是自我中心网络结构的重要特征,度量网络中节点之间联系的紧密程度,密度越大说明节点之间的关系越密切。一般来讲,当网络密度越大时,网络成员之间的社会凝聚力就越大,信息的传输和共享就越畅通。从社会资本的角度来看,企业间专利合作网络并非密度越高越好。无论是维护现有的社会关系,还是发展新的社会关系,都要付出时间和资源的成本。企业如果不能有效处理多重网络的均衡关系,那么就会造成在社会网络中过渡嵌入的可能性。过渡嵌入会使企业的社会资本变成社会负担。企业在借助社会网络获得社会资本时,一定要保持适度的网络嵌入,把有限的时间和精力聚焦在识别更优质资源上,避免对原有社会关系的过度信任和过度依赖。正如 R. S. Burt 的结构洞理论认为,过高的网络密度容易造成网络内部信息与知识的冗余,从而降低知识流动效率[32],而这种情况在自我中心网络中尤为突出。一方面信息同质的可能性越大,另一方面紧密的合作团队会排斥外部信息,使中心企业与外部系统创新主体之间的联系进一步降低。同时,对于企业来讲,维护紧密的合作团队会进一步增加企业的技术创新成本。综合以上分析,本文提出以下假设:

假设2:企业自我中心网络密度对技术创新绩效有负向影响。

3.3 企业合作对象与技术创新绩效

已有研究表明合作者的类型对专利产出有影响[33]。合作伙伴的技术相似性与专利绩效之间存在倒U型关系,即合作伙伴之间存在一定的认知距离,而不是太大的认知距离有利于技术创新。因此,大公司可能会倾向于与较年轻的公司合作创造专利[34],通过特定项目的合作补充技术储备[35]。而重复合作对专利产出有负面响[36]。由此可见,在专利合作中,企业的合作伙伴类型和合作形式对企业创新绩效会造成影响。同时,大公司在追求与竞争对手的合作竞争时,面临着一个两难的困境:既有诱人的机会,又有被合作伙伴侵占的风险[3]。综合以上分析,本文认为大公司在技术创新方面选择小公司作为合作对象更加有利于技术创新绩效,一方面可以降低竞争合作风险,一方面可以补充特定项目的技术和知识存储。

因此本文提出以下假设:

假设3:企业合作对象中小公司占比对技术创新绩效有正向影响。

语音识别技术领域属于知识密集型产业,企业合作的对象类型较多,如高校、科研院所、大公司、初创公司、小公司等。限于样本数据,本文重点分析企业合作对象是标准公司和非标准公司这两种类型对企业创新绩效的影响。根据德温特专利数据库,标准公司为专利产出在1 000件以上的公司,本文将其定义为大公司,而非标准公司专利产出较少,本文定义为小公司。

3.4 小世界特性对自我中心网络与技术创新绩效的调节作用

所谓小世界网络是指相比于同等网络规模的随机网络,具有较大的聚类系数和较短的平均最短路径长度的网络模型。小世界特性已被广泛证实为专利合作网络的典型特征,并会对创新绩效具有显著影响。L. Fleming 等的实证研究表明,专利合作网络的聚类系数、平均最短路径长度以及二者的交互作用对创新绩效具有显著的影响[20]。B. Uzzi 和 J. Spiro 使用两者的比值得到小世界特征值 SW,并分析 SW 对创新绩效的影响[23]。当前的大多数研究将整体合作网络小世界性作为自变量来研究,但小世界特性是整体网络层面的变量,而企业自我中心网络特征和企业技术创新

绩效均为个体层面的变量,二者存在结构性差异。因此,本文认为整体合作网络小世界特性不直接影响个体创新,而是作用于个体自我中心网络间接影响个体创新绩效。因此,不同于以往研究将小世界特性作为自变量,本文将小世界特性作为调节变量,分析其对自我中心网络与企业技术创新绩效的调节作用,增强或者减弱企业自我中心网络规模和网络密度对技术创新绩效的影响,深入分析小世界特性对企业技术创新绩效的影响机制。

人们发现在具有小世界特征的动力系统中,信息的传播能力、计算能力等都得到了增强。信息传播具有社会加强作用,当整体专利合作网络具有较高的聚类系数时,表明网络局部的交流和互动比较活跃,信息传播在局部得到强化,这有利于企业自我中心网络规模的扩大;当整体专利合作网络具有较短的平均路径长度时,信息传播的速度更快,有利于企业寻找更加适合自己的合作对象,也有利于企业自我中心网络规模的扩大。基于以上分析,本文作出以下假设:

假设 4a:小世界特性对自我中心网络规模与技术创新绩效具有正向调节作用。

一些证据表明,小世界和创新之间的关系可能实际上是曲线型的,因为一些小世界增强了信息流,但太多的小世界会产生信息冗余和减少新颖性[23]。当整体网络聚类系数达到一定水平后,再继续增加,则会显著增加企业自我中心网络密度,使得合作伙伴之间的联系更加紧密。基于以上分析,本文作出以下假设:

假设 4b:小世界特性对自我中心网络密度与技术创新绩效具有正向调节作用。

综合以上理论分析,本文提出专利合作中企业自我中心网络特征和小世界特征对企业技术创新绩效影响的理论模型如图 1 所示:

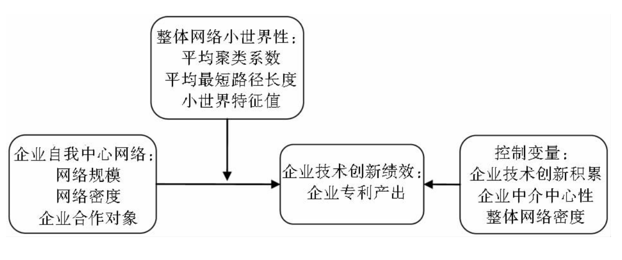


图 1 理论模型

4 研究设计

4.1 研究样本

研究样本来自于语音识别技术领域的企业,研究数据为企业专利数据,来源于德温特专利数据库。本文之所以选择语音识别技术领域,主要是因为语音识别技术是人工智能的关键应用领域,且技术更新速度很快。因此,可以观察到专利合作网络结构和企业自我中心网络的显著演化特征,这对于本文分析专利合作网络小世界特性对企业技术创新绩效的影响研究非常有利。语音识别技术主要涉及语音分析或合成、语音识别、语音或声音处理、语音或音频编码或解码等技术领域,其国际专利分类 IPC 小类为 G10L。德温特专利数据库为拥有 1 000 件以上专利的大公司分配 4 字母唯一机构代码(ABCD-C),此类公司被称为标准公司,而其他非标准公司则使用代码 ABCD-N 和 ABCD-R(俄罗斯),对于非标准公司可根据国家、地区、城市及公司地址等信息进行识别。因为机构代码唯一,因此本文将研究对象设置为标准公司。经过 IPC 检索,获得参与专利合作的标准公司样本 165 个,最终获得 1990 – 2014 年间 1 005 个非平衡面板样本数据,检索时间为 2019 年 4 月。

4.2 网络构建

企业间合作关系一般可维持 3 – 5 年[37],本文以 5 年为移动窗口,将 1990 – 2014 年间的企业专利合作关系划分为 21 个阶段(1990 – 1994, 1991 – 1995, …, 2010 – 2014)。在每一个阶段内,利用企业间的共同专利权人关系构建专利合作网络。以 1990 – 1994 阶段为例说明网络的构建过程:按专利权人 4 字母机构代码信息识别出标准公司和非标准公司,标准公司将作为研究样本,经过地址识别的非标准公司不作为研究样本但参与合作网络构建;根据共同专利权人关系遍历所有专利,得到网络的边及其权重,由此生成合作网络。

4.3 网络指标计算与变量测量

4.3.1 整体合作网络指标

整体合作网络指标涉及整体网络密度、平均聚类系数、平均最短路径长度、小世界特征值、中介中心性等,具体计算方法见表 1。

4.3.2 自我中心网络指标

企业自我中心网络特征指标涉及自我中心网络规模、网络密度和企业合作对象 3 个指标,具体计算方法见表 1。

4.3.3 变量测量

因变量为企业技术创新绩效,自变量为企业自我中心网络特征,调节变量为整体合作网络小世界特征,控制变量为企业技术创新积累、整体网络密度和企业在整体网络中的中介中心性。具体变量说明及计算方法见表 1,部分变量的内涵解释如下:

表 1　变量符号及测量方法

类型	变量名称	符号表示	测量方法
因变量	技术创新绩效	$Patents_{i,t+1}$	企业进入样本后第 1 年申请并被授权的专利数
		$Patents_{i,t+2}$	企业进入样本后第 2 年申请并被授权的专利数
		$Patents_{i,t+3}$	企业进入样本后第 3 年申请并被授权的专利数
自变量	自我中心网络规模	$Ego_size_{i,t}$	合作网络中与企业有直接联系的节点总数
	自我中心网络密度	$Ego_density_{i,t}$	企业自我中心网络中实际连边与最大可能连边的比值
	企业合作对象	$Cooperator_{i,t}$	企业合作伙伴中小公司所占比例
调节变量	网络平均最短路径长度之比	PL_ratio_t	整体合作网络平均最短路径长度与同等规模随机网络平均最短路径长度之比：$PL_ratio_t=\frac{PLa}{PLr}$。其中，$PLa$ 和 PLr 分别表示样本专利合作网络和随机网络平均最短路径长度
	网络平均聚类系数之比	CC_ratio_t	整体合作网络平均聚类系数与同等规模随机网络平均聚类系数之比：$CC_ratio_t=\frac{CCa}{CCr}$。其中，$CCa$ 和 CCr 分别表示样本专利合作网络和随机网络平均聚类系数
	小世界特征值	SW_t	$SW_t=\frac{CC_ratio_t}{PL_ratio_t}$
控制变量	企业技术创新积累	$\text{Pre-}sample_Patents_{i,t}$	企业进入样本前 3 年专利总数
	中介中心性	$BC_{i,t}$	企业在整体合作网络中的中介中心性
	整体网络密度	$Who_density_t$	整体合作网络的网络密度

(1)企业技术创新绩效。使用企业年度申请并授权的专利数量作为测量企业技术创新绩效的指标，考虑到专利合作网络结构对企业技术创新绩效的滞后效应，分别取滞后 1 年、2 年和 3 年的专利数量作为因变量，记为 $Patents_{i,t+1}$，$Patents_{i,t+2}$，$Patents_{i,t+3}$。

(2)企业合作对象。该变量主要测量企业的合作对象中小公司(即非标准公司)的占比。

(3)企业技术创新积累。为了控制企业专利行为中未观察到的异质性(例如，由于研发支出、专利倾向或能力等方面的差异)，本文遵循 R. Blundell 等的方法，将变量企业技术创新积累定义为公司在进入样本之前的三年内所获得的所有专利的总和[38]，该指标有效度量企业技术创新的前期积累。

(4)中介中心性。研究发现，在合作网络中占据更多中心位置的公司往往比外围公司产生更多的创新[39]。节点的中介中心性表示节点能够访问不同的信息流，并充当这些信息的守门人或中间人。本文使用归一化中介中心性，以使该度量在时间和不同阶段的网络上具有可比性。

(5)整体网络密度。当整体网络密度捕获整个网络的全局密度(或稀疏性)时，聚类系数捕获整个网络具有密集连接的局部区域特征的程度。一个网络可能在全局上非常稀疏，但仍然具有很高的聚类系数，因为整体网络信息扩散的速度和程度会随密度增加而增加[40]，从而有利于企业新知识和新技术的吸收和利用，有利于技术创新。因此，本文将整体网络密度作为控制变量。

4.4　统计模型构建

专利产出属于典型的非负计数变量，同时由于语音识别技术企业间合作专利数的方差大于期望具有过离散特征(见表 2)，综合已有研究[18]，将专利产出视作服从负二项分布，应用负二项回归模型进行实证研究。使用 Hausman 检验，在 $p<0.0001$ 的显著性水平下，拒绝了随机效应模型，因此使用固定效应负二项式模型。同时，固定效应负二项回归有利于控制不可预测、不随时间变化的影响因素。模型表达式如下：

$$Patents_{i,t+y}=f\left\{\begin{matrix}\text{Pre-}sample_Patents_{i,t},\ BC_{i,t},Who_density_t,Ego_size_{i,t},Ego_density_{i,t},\\ Cooperator_{i,t},PL_ratio_t,CC_ratio_t,SW_t,Ego_size_{i,t}\times PL_ratio_t,\\ Ego_size_{i,t}\times CC_ratio_t,Ego_size_{i,t}\times SW_t,Ego_density_{i,t}\times PL_ratio_t,\\ Ego_density_{i,t}\times CC_ratio_t,Ego_density_{i,t}\times SW_t\end{matrix}\right)$$

其中，i 表示企业，t 表示网络划分阶段，$y=1,2,3$ 分别代表时间滞后1年、2年和3年。

表2　变量描述性统计分析（N = 1 005）

变量名称	极小值	极大值	均值	标准差	方差
$Patents_{t+1}$	0	106	8.540 0	14.836 0	220.119 0
$Patents_{t+2}$	0	106	8.490 0	15.072 0	227.156 0
$Patents_{t+3}$	0	106	8.290 0	15.023 0	225.697 0
Ego_size	3	19	4.160 0	2.135 0	4.557 0
Ego_density	0.146 2	1	0.727 0	0.227 4	0.052 0
Cooperator	0	1	0.354 7	0.353 5	0.125 0
CC_ratio	3.872 2	132.565 2	72.192 6	30.321 2	919.374 0
PL_ratio	0.306 6	0.613 1	0.405 0	0.070 0	0.005 0
SW	8.535 1	409.014 9	186.125 0	92.980 1	8 645.307 0
Pre-sample_Patents	0	255	18.940 0	34.664 0	1 201.605 0
BC	0	0.032 0	0.001 1	0.002 9	0
Who_density	0.004 3	0.017 4	0.006 1	0.002 8	0

5　实证结果及分析

5.1　样本专利合作网络结构分析

本文对专利合作网络的构建和分析使用基于python的NetworkX复杂网络分析工具包完成。表3描述了各阶段专利合作网络的节点数量、边数量、网络密度、平均聚类系数、平均最短路径长度以及同等规模下随机网络的平均聚类系数、平均最短路径长度，并计算 *CC_ratio* 和 *PL_ratio*，最后计算各阶段专利合作网络小世界特征值SW。从表3中可以看出，各阶段小世界特征值SW均较大，平均值为159.325 7，均远大于文献[7,23]研究中的网络小世界特征值，说明语音识别技术领域企业专利合作网络具有典型的小世界特性。

表3　专利合作网络小世界特性

阶段	节点数量	边数量	网络密度	*CCa*	*CCr*	*CC_ratio*	*PLa*	*PLr*	*PL_ratio*	*SW*
1990－1994	70	42	0.017 4	0.076 2	0.004 0	18.823 5	1.666 7	4.513 7	0.369 2	50.978 1
1991－1995	71	43	0.017 3	0.042 3	0.010 9	3.872 2	1.928 6	4.251 0	0.453 7	8.535 1
1992－1996	92	73	0.017 4	0.188 9	0.005 5	34.080 3	2.500 0	6.199 5	0.403 3	84.512 6
1993－1997	122	98	0.013 3	0.143 4	0.007 8	18.414 7	2.409 4	7.292 0	0.330 4	55.732 7
1994－1998	155	132	0.011 1	0.166 4	0.003 1	52.982 6	3.253 3	7.080 0	0.459 5	115.302 8
1995－1999	170	147	0.010 2	0.195 0	0.011 0	17.788 0	3.281 6	7.207 0	0.455 3	39.064 9
1996－2000	235	219	0.008 0	0.248 1	0.005 6	44.293 7	3.094 5	7.368 9	0.419 9	105.476 6
1997－2001	285	248	0.006 1	0.212 4	0.002 6	80.635 7	3.365 4	8.201 4	0.410 3	196.504 9
1998－2002	316	265	0.005 3	0.194 1	0.001 8	107.325 8	3.260 2	9.617 2	0.339 0	316.601 3
1999－2003	353	297	0.004 8	0.171 1	0.002 8	60.185 1	5.450 2	8.890 2	0.613 1	98.172 1
2000－2004	367	308	0.004 6	0.171 1	0.002 1	82.600 9	3.460 6	8.798 2	0.393 3	210.004 1
2001－2005	340	279	0.004 8	0.158 0	0.004 4	35.919 6	3.283 8	8.681 2	0.378 3	94.958 0
2002－2006	316	260	0.005 2	0.158 9	0.002 3	67.870 0	3.469 9	9.299 6	0.373 1	181.895 8
2003－2007	314	257	0.005 2	0.189 0	0.002 1	90.388 2	3.610 9	9.228 8	0.391 3	231.015 4
2004－2008	304	250	0.005 4	0.205 0	0.004 3	47.575 4	3.479 5	8.991 7	0.387 0	122.944 4
2005－2009	311	253	0.005 2	0.217 7	0.003 2	67.931 2	3.552 9	9.186 3	0.386 8	175.642 8
2006－2010	313	255	0.005 2	0.210 2	0.001 8	116.777 4	3.278 1	8.756 6	0.374 4	311.943 7
2007－2011	318	257	0.005 1	0.199 3	0.001 5	132.565 2	2.929 2	9.037 8	0.324 1	409.014 9
2008－2012	328	271	0.005 1	0.199 5	0.003 2	62.320 1	2.827 7	9.224 1	0.306 6	203.291 0
2009－2013	378	309	0.004 3	0.198 6	0.003 3	60.577 3	4.628 0	9.340 1	0.495 5	122.255 4
2010－2014	367	296	0.004 4	0.160 2	0.001 6	101.447 1	4.558 7	9.526 1	0.478 5	211.992 2

5.2　样本描述性统计分析与相关性分析

本研究采用R软件对样本数据进行描述性统计与变量相关性分析，同时做了变量共线性分析（见表2和表4）。由表2可以看出，因变量均值与方差相差很大，因此适合使用负二项回归建模。经验表明，当VIF > = 10时，就说明自变量之间存在严重的多重共线性[41]。从表4可以看出，CC_ratio和SW这两个变量之间方差膨胀因子VIF值较高，相关系数大于0.7，表明存在较大的共线性，但在统计模型中SW和CC_ratio不会放入同一个回归方程中，因此二者的共线性问题不会影响回归模型。除SW和CC_ratio外，其他变量之间VIF均小于5，故整体来看，统计模型共线性问题较小。

关鹏，王曰芬，傅柱，等. 专利合作网络小世界特性对企业技术创新绩效的影响研究[J]. 图书情报工作,2021,65(18):105 – 116.

表 4　变量相关性分析(皮尔逊相关系数,N = 100 5)

变量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Patentst + 1	1	0.845 **	0.795 **	0.467 **	−0.466 **	0.000	−0.007	0.026	−0.014	0.617 **	0.345 **	0.014
2 Patentst + 2	0.845 **	1	0.847 **	0.468 **	−0.446 **	−0.018	−0.016	0.029	−0.019	0.576 **	0.353 **	0.031
3 Patentst + 3	0.795 **	0.847 **	1	0.474 **	−0.418 **	−0.025	−0.009	0.023	−0.014	0.538 **	0.343 **	0.032
4 Ego_size	0.467 **	0.468 **	0.474 **	1	−0.583 **	0.056	−0.032	0.029	−0.035	0.379 **	0.695 **	0.006
5 Ego_density	−0.466 **	−0.446 **	−0.418 **	−0.583 **	1	−0.043	0.028	−0.043	0.035	−0.437 **	−0.476 **	−0.004
6 Cooperator	0.000	0.018	0.025	−0.056	0.043	1	0.037	0.061	0.018	−0.176 **	−0.068 *	−0.044
7 CC_ratio	−0.007	−0.016	−0.009	−0.032	0.028	−0.037	1	−0.240 **	0.953 **	0.074 *	−0.126 **	−0.510 **
8 PL_ratio	0.026	0.029	0.023	0.029	−0.043	−0.061	−0.240 **	1	−0.490 **	−0.022	0.159 **	−0.023
9 SW	−0.014	−0.019	−0.014	−0.035	0.035	−0.018	0.953 **	−0.490 **	1	0.069 *	−0.147 **	−0.431 **
10Pre – sample_Patents	0.617 **	0.576 **	0.538 **	0.379 **	−0.437 **	0.176 **	0.074 *	−0.022	0.069 *	1	0.178 **	−0.143 **
11 BC	0.345 **	0.353 **	0.343 **	0.695 **	−0.476 **	0.068 *	−0.126 **	0.159 **	−0.147 **	0.178 **	1	0.120 **
12 Who_density	0.014	0.031	0.032	0.006	−0.004	0.044	−0.510 **	−0.023	−0.431 **	−0.143 **	0.120 **	1
VIF1	–	–	–	2.481	1.703	1.049	44.057	5.130	52.705	1.387	2.165	1.464
VIF2(去掉 SW 后)	–	–	–	2.481	1.703	1.049	1.482	1.141	–	1.387	2.155	1.443

注：*、**、***分别表示在 0.05、0.01 和 0.001 水平上显著相关

5.3　负二项回归分析

统计数据的负二项回归结果见表 5。模型 1 为基础模型,只包含控制变量。可以看出,企业技术创新积累、整体网络密度和企业在整体网络中的中介中心性对企业创新绩效均具有显著的正向影响,这与已有的研究成果一致。但从模型 2 到模型 8,加入其它变量后中介中心性对创新绩效的正向影响并不都是显著的,这说明中介中心性对企业技术创新绩效的影响容易受到其他变量的干扰。

表 5　负二项回归模型结果(N = 1005)(因变量:$Patents_{t+1}$)

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
Pre-sample_Patents	0.024 644 *** (17.333)	0.022 96 *** (15.268)	0.019 19 *** (12.878)	0.026 925 *** (19.049)	0.023 227 *** (15.356)	0.019 578 *** (13.167)	0.019 538 *** (13.125)	0.019 272 *** (12.927)
BC	0.248 902 *** (5.078)	0.063 736 (0.937)	0.054 84 (1.038)	0.281 377 *** (5.888)	0.045 595 (0.642)	0.027 01 (0.501)	0.029 067 (0.543)	0.044 917 (0.822)
Who_density	0.192 122 *** (3.86)	0.222 407 *** (4.503)	0.200 67 *** (4.185)	0.200 257 *** (4.093)	0.226 903 *** (4.173)	0.230 158 *** (4.373)	0.248 878 *** (4.503)	0.204 143 *** (4.256)
Ego_size		0.130 778 *** (3.896)			0.132 99 *** (3.946)			
Ego_density			−2.024 05 *** (−7.721)			−2.127 532 *** (−8.128)	−2.148 88 *** (−8.212)	−2.031 191 *** (−7.724)
Cooperator				0.835 258 *** (5.973)				
CC_ratio							−0.335 08 * (−2.067)	
PL_ratio								0.196 223 (1.22)
SW					0.123 148 (1.092)	−0.379 563 * (−2.321)		
Ego_size: *SW*					−0.030 072 (−1.25)			
Ego_density: *SW*						0.577 31 ** (2.71)		
Ego_density: *CC_ratio*							0.553 661 ** (2.625)	
Ego_density: *PL_ratio*								−0.261 153 (−1.191)
Intercept	1.267 658 *** (22.216)	0.739 144 *** (5.206)	2.769 38 *** (13.364)	1.718 908 *** (17.063)	0.721 482 (5.045)	2.822 668 *** (13.671)	2.839 713 *** (13.756)	2.768 679 *** (13.339)
log-likelihood	−5 482.743	−5 468.459	−5 421.705	−5 444.77	−5 467.453	−5 412.633	−5 412.258	−5 420.158
AIC	5 492.7	5 480.5	5 433.7	5 456.8	5 483.5	5 428.6	5 428.3	5 436.2

注：*、**、***分别表示在 0.05、0.01 和 0.001 水平上显著相关

模型 2 到模型 4 分别为加入企业自我中心网络规模、企业自我中心网络密度和企业合作对象这 3 个自变量后，回归模型的结果。可以看出，企业自我中心网络规模对企业技术创新绩效具有显著的正向影响，假设 1 得到验证，这也与之前的其他研究保持一致，表明扩大合作规模有利于企业技术创新绩效[33]。企业自我中心网络密度对企业创新绩效具有显著的负向影响，当以企业为中心的核心网络过于紧密时，企业获得冗余信息会增加，而维系这样的强联系合作关系也会给企业带来负担，这与相关理论分析一致，假设 2 得到验证。企业合作对象这个变量测量企业与小公司合作的比例，该变量对企业创新绩效的具有显著的正向影响，假设 3 得到验证。大公司与小公司的合作，除了可以有效降低合作竞争风险外，还可以通过有针对性的项目合作补强技术优势，因此大公司与小公司合作更有利于提高企业技术创新绩效。

模型 5 是在模型 2 的基础上加入了小世界特征值 *SW* 这个调节变量。从回归结果来看，企业自我中心网络规模与小世界特性 *SW* 的交互项系数不显著，即小世界特性对自我中心网络规模对技术创新绩效的正向影响没有显著影响，假设 4a 没有得到验证。

模型 6、7、8 是在模型 3 的基础上分别了加入了小世界特征值 *SW*、网络平均聚类系数之比 *CC_ratio* 和网络平均最短路径长度之比 *PL_ratio*3 个调节变量。从模型 6 的回归结果看，*SW* 对企业创新绩效存在显著的负向影响，且企业自我中心网络密度与小世界特性 *SW* 的交互项系数正向显著，即整体合作网络小世界性 *SW* 增强了企业自我中心网络密度对企业技术创新绩效的负向影响。分析当前研究结果后发现，无论是小世界网络的高聚类系数还是短路径长度，只有维持在一个适当的水平时才会对创新绩效具有正向影响，而一旦超过这个水平（或阈值），小世界特性对创新绩效的影响就会反转[23,42]。

为了深入探索小世界特性的影响机制，分别将 *CC_ratio* 和 *PL_ratio* 作为调节变量加入到模型中。从模型 7 的回归结果看，*CC_ratio* 对企业创新绩效存在显著的负向影响，且企业自我中心网络密度与 *CC_ratio* 的交互项系数正向显著，即网络平均聚类系数之比增强了企业自我中心网络密度对企业技术创新绩效的负向影响。而从模型 8 的回归结果看，*PL_ratio* 对企业创新绩效存在正向影响，但并不显著（$p = 0.234 > 0.05$），且企业自我中心网络密度与 PL_ratio 的交互项系数为负，说明网络平均最短路径长度之比减弱了企业自我中心网络密度对企业技术创新绩效的负向影响，但并不显著（$p = 0.223 > 0.05$）。在小世界结构下，高聚集性的关系导致更加紧密的合作，而长的路径长度可以带来新鲜的、非冗余的信息[43]。由此可见，在整体合作网络小世界性对企业自我中心网络密度与企业技术创新绩效的增强作用下，聚类系数比路径长度发挥了更大的作用，且聚类系数为增强作用而路径长度为减弱作用，这与理论分析的结果相吻合。因此，假设 4b 得到验证。

另外，根据赤池信息准则（Akaike information criterion，AIC），AIC 值越小，对应的模型越优，从表 5 可见，模型 6 和模型 7 对应的 AIC = 5 428.6 和 5 428.3，是所有模型中最小的，可见整体合作网络小世界性的调节作用是非常明显的。

5.4 模型的鲁棒性分析

为了验证统计模型的鲁棒性，本文对滞后 2 年和 3 年的因变量进行统计分析，结果如表 6 和表 7 所示。从负二项回归结果来看，企业技术创新积累、整体网络密度和企业在整体网络中的中介中心性对时间滞后 2 年和 3 年的企业创新绩效均具有显著的正向影响。企业自我中心网络规模和企业合作对象这两个自变量对时间滞后 2 年和 3 年的企业创新绩效均具有显著的正向影响，而企业自我中心网络密度对时间滞后 2 年和 3 年的企业创新绩效均具有显著的负向影响。因此，假设 1、2、3 均得到验证。从模型 5 的分析结果来看，时间滞后 2 年和 3 年的结果与时间滞后 1 年的结果一致；从模型 6、7、8 的分析结果来看，小世界特性对企业自我中心网络密度与企业创新绩效的正向调节作用显著性水平由 0.01 下降至 0.05，但仍然通过了显著性检验。由此可见，本文所构建的理论模型具有较强的鲁棒性，对于时间滞后因素没有太大的影响。

6 研究结论与讨论

6.1 研究结论

虽然专利合作网络小世界特性对企业技术创新绩效的研究受到广泛关注，但是小世界特性对企业技术创新绩效的影响机制并不明确。本文以语音识别技术 165 个企业为研究对象，以共同专利权人为合作关系构建 1990 – 2014 年间的专利合作网络，以企业自我中心网络特征为自变量，以整体合作网络小世界特性为调节变量，实证分析了自我中心网络、整体合作网络小世界特性和企业技术创新绩效之间的复杂关系。与已有研究相比，本文的贡献主要体现在以下几个方面：

关鹏，王曰芬，傅柱，等. 专利合作网络小世界特性对企业技术创新绩效的影响研究[J]. 图书情报工作，2021，65（18）：105 –116.

表 6　负二项回归模型结果（N = 1005）（因变量：$Patents_{t+2}$）

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
Pre-sample_Patents	0. 023 497 ***	0. 021 862 ***	0. 018 387 ***	0. 026 553 ***	0. 022 040 ***	0. 018 564 ***	0. 018 546 ***	0. 018 639 ***
	(16. 024)	(14. 058)	(11. 806)	(18. 348)	(14. 091)	(11. 918)	(11. 899)	(11. 966)
BC	0. 252 519 ***	0. 084 091	0. 089 714	0. 289 307 ***	0. 067 610	0. 074 585	0. 076 883	0. 080 282
	(4. 996)	(1. 199)	(1. 628)	(5. 916)	(0. 923)	(1. 323)	(1. 375)	(1. 410)
Who_density	0. 204 962 ***	0. 233 279 ***	0. 214 093 ***	0. 219 126 ***	0. 247 714 ***	0. 239 469 ***	0. 266 808 ***	0. 217 366 ***
	(4. 004)	(4. 582)	(4. 295)	(4. 385)	(4. 420)	(4. 371)	(4. 641)	(4. 359)
Ego_size		0. 112 429 **			0. 116 474 ***			
		(3. 243)			(3. 347)			
Ego_density			–1. 737 658 ***			–1. 798 369 ***	–1. 814 583 ***	–1. 723 690 ***
			(–6. 388)			(–6. 614)	(–6. 679)	(–6. 322)
Cooperator				0. 989 224 ***				
				(6. 924)				
CC_ratio							–0. 174 283	
							(–1. 031)	
PL_ratio								0. 136 280
								(0. 817)
SW					0. 129 695	–0. 231 108		
					(1. 116)	(–1. 354)		
Ego_size：*SW*					–0. 026 453			
					(–1. 064)			
Ego_density：*SW*						0. 376 480 *		
						(1. 698)		
Ego_density：*CC_ratio*							0. 354 746 *	
							(1. 618)	
Ego_density：*PL_ratio*								–0. 107 096
								(–0. 474)
Intercept	1. 300 656 ***	0. 851 553 ***	2. 605 947 ***	0. 829 445 ***	0. 828 060 ***	2. 638 191 ***	2. 649 673 ***	2. 587 958 ***
	(22. 178)	(5. 816)	(12. 085)	(10. 218)	(5. 616)	(12. 258)	(12. 319)	(11. 988)
log – likelihood	–5 455. 810 0	–5 445. 664 0	–5 413. 192 0	–5 405. 275 0	–5 444. 596 0	–5 408. 668 0	–5 407. 474 0	–5 411. 485 0
AIC	5 465. 8	5 457. 7	5 425. 2	5 417. 3	5 460. 6	5 424. 7	5 423. 5	5 427. 5

注：*、**、***分别表示在 0. 05 、0. 01 和 0. 001 水平上显著相关

表 7　负二项回归模型结果（N = 1005）（因变量：$Patents_{t+3}$）

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
Pre-sample_Patents	0. 023 357 ***	0. 021 442 ***	0. 018 851 ***	0. 027 022 ***	0. 021 642 ***	0. 019 049 ***	0. 019 166 ***	0. 019 096 ***
	(15. 151)	(13. 131)	(11. 405)	(17. 814)	(13. 185)	(11. 534)	(11. 625)	(11. 550)
BC	0. 238 647 ***	0. 043 222	0. 100 639 *	0. 275 530 ***	0. 020 475	0. 085 599	0. 082 673	0. 095 408
	(4. 489)	(0. 586)	(1. 721)	(5. 373)	(0. 266)	(1. 433)	(1. 398)	(1. 579)
Who_density	0. 215 663 ***	0. 246 106 ***	0. 222 468 ***	0. 232 805 ***	0. 271 353 ***	0. 264 978 ***	0. 310 908 ***	0. 225 860 ***
	(4. 015)	(4. 613)	(4. 218)	(4. 453)	(4. 622)	(4. 576)	(5. 126)	(4. 280)
Ego_size		0. 123 933 **			0. 131 766 ***			
		(3. 405)			(3. 607)			
Ego_density			–1. 491 067 ***			–1. 584 573 ***	–1. 647 775 ***	–1. 479 082 ***
			(–5. 192)			(–5. 523)	(–5. 755)	(–5. 138)
Cooperator				1. 091 586 ***				
				(7. 307)				
CC_ratio							–0. 262568	
							(–1. 471)	
PL_ratio								0. 042 533
								(0. 241)
SW					0. 182 558	–0. 269 320		
					(1. 499)	(–1. 492)		
Ego_size：*SW*					–0. 034 349			
					(–1. 316)			
Ego_density：*SW*						0. 469 314 *		
						(2. 007)		
Ego_density：*CC_ratio*							0. 542 711 *	
							(2. 350)	
Ego_density：*PL_ratio*								0. 035 200
								(0. 148)
Intercept	1. 292 096 ***	0. 797 229 ***	2. 420 975 ***	0. 761 407 ***	0. 755 493 ***	2. 472 994 ***	2. 510 444 ***	2. 405 882 ***
	(21. 022)	(5. 188)	(10. 612)	(8. 964)	(4. 881)	(10. 868)	(11. 060)	(10. 533)
log-likelihood	–5 366. 047 0	–5 354. 478 0	–5 337. 659 0	–5 311. 565 0	–5 352. 423 0	–5 331. 472 0	–5 326. 562 0	–5 336. 075 0
AIC	5 376	5 366. 5	5 349. 7	5 323. 6	5 368. 4	5 347. 5	5 342. 6	5352. 1

注：*、**、***分别表示在 0. 05 、0. 01 和 0. 001 水平上显著相关 .

(1)从负二项回归模型的结果可见,在语音识别技术领域的专利合作网络中,企业自我中心网络规模对技术创新绩效具有显著正向影响,表明企业的合作对象越多越有利于创新;自我中心网络密度对企业技术创新绩效具有显著负向影响,表明企业在扩大合作规模的同时,需要保持适度的网络嵌入,避免对原有社会关系的过度信任和过度依赖,避免因为过高的网络密度造成合作团体内部信息与知识的冗余;企业与小公司合作更能够促进企业技术创新绩效,表明小公司可以为合作对象带来新鲜异质的信息和知识。

(2)从负二项回归模型的结果可见,在语音识别技术领域的专利合作网络中,小世界特性对企业创新绩效的影响机制并非理论分析所指,也与已有的研究结论不同。整体合作网络小世界特性在企业自我中心网络规模与创新绩效的影响中没有显著调节作用;整体合作网络小世界特性在企业自我中心网络密度与创新绩效的影响中有显著正向调节作用,进一步分析可得:其中起到正向调节作用的是聚类系数,路径长度虽然起到负向调节作用,但并不显著。

因此,为提高企业技术创新绩效,提出以下 3 个方面的对策和建议:一是企业要尽可能的扩大自我中心网络规模,合作对象越多越有利于技术创新,尤其是具有一定认知距离的合作对象,通过知识互补增强企业吸收异质性信息的能力。当前,产学研合作正方心未艾,企业应不断加强与高校和科研院所的合作和交流,寻找适合自己的更加优质的合作对象;二是要防范自我中心网络过于紧密而造成的信息冗余,而专利合作网络的小世界特性会强化这种负作用。R. S. Burt 的结构洞理论认为,当个体处于网络"把关人"角色时,会增强对网络信息的控制,从而获得较高的回报。因此,企业在制定技术研发合作策略时,尽量使自己处于把关人角色,维系自我中心网络密度的适度区间,避免出现过度的网络嵌入,使企业在维系多重社会关系时付出过高的时间成本和资源成本;三是要重视与小企业和初创企业的合作,尤其是在人工智能领域,这些企业往往掌握前沿技术,可以通过项目式合作方式补强企业的技术优势,从而增强自身技术创新绩效。同时,与大公司合作相比,小公司的竞争合作风险明显较低。

6.2 讨论与研究展望

本研究的贡献在于通过实证分析证实了企业自我中心网络规模对企业创新绩效的正向影响和企业自我中心网络密度对企业创新绩效的负向影响;同时,进一步理清了小世界特性影响企业技术创新绩效的机制,小世界特性作为整体合作网络的典型特征,通过其高聚类系数进一步增强了企业自我中心网络密度对企业创新绩效的负向影响。

本文的研究不足在于只针对语音识别技术领域展开研究,还需进一步扩大研究样本,以验证研究结果的普适性;本文的研究只将企业列为研究对象,对于其他创新主体如高校、科研院所等缺乏研究。下一步将进一步扩大研究范围,同时在两个方面进行深入,一是进一步对自我中心网络密度进行区分,探索小世界特性对不同网络密度程度的影响;二是进一步对小世界特性进行区分,探索不同程度的小世界特性对企业技术创新绩效的影响。

参考文献:

[1] HAGEDOORN J. Understanding the rationale of strategic technology partnering: nterorganizational modes of cooperation and sectoral differences[J]. Strategic management journal, 1993, 14(5): 371-385.
[2] ROTHAERMEL F T, DEEDS D L. Exploration and exploitation alliances in biotechnology: a system of new product development [J]. Strategic management journal, 2004, 25(3): 201-221.
[3] GNYAWALI D R, PARK B. Co-opetition between giants: collaboration with competitors for technological innovation[J]. Research policy, 2011, 40(5): 650-663.
[4] HUANG M, DONG H, CHEN D, et al. Globalization of collaborative creativity through cross-border patent activities[J]. Journal of informetrics, 2012, 6(2): 226-236.
[5] JAFFE A, TRAJTENBERG M, FOGARTY M. Knowledge spillovers and patent citations: evidence froma survey of inventors[J]. American economic review, 2000, 90(2):215-218.
[6] 解学梅,刘丝雨.协同创新模式对协同效应与创新绩效的影响机理[J].管理科学,2015,28(2):27-39.
[7] SCHILLING M A, PHELPS C C. Interfirm collaboration networks: the impact of large-scale network structure on firm innovation[J]. Management science, 2007, 53(7): 1113-1126.
[8] TAKAGI S, TOYAMA R. On growth of network and centrality's change analysis of co-inventors network in enterprise[C]//World summit on knowledge society. Berlin:Springer, 2008: 422-427.
[9] NERKAR A, PARUCHURI S. Evolution of r&d capabilities: the role of knowledge networks within a firm[J]. Management science, 2005, 51(5): 771-785.
[10] FLEMING L, MINGO S, CHEN D. Collaborative brokerage, generative creativity, and creative success[J]. Adminis-trative science quarterly, 2007, 52(3): 443-475.
[11] 迟嘉昱,孙翎,杨晓华.网络结构、地理接近性对企业专利合作的影响机制研究[J].科技管理研究,2018,38(16):144-149.
[12] KASTELLE T, STEEN J. Are small world networks always best for innovation[J]. Innovation-management policy & practice, 2010,

12(1)：75－87.
［13］WATTS D J，STROGATZ S H. Collective dynamics of ‘small-world’networks［J］. Nature，1998，393(6684)：440.
［14］FLEMING L，MARX M. Managing creativity in small worlds［J］. California management review，2006，48(4)：6－27.
［15］GALASKIEWICZ J. Has a network theory of organizational behaviour lived up to its promises［J］. Management and organization review，2007，3(1)：1－18.
［16］LINDNER I，STRULIK H. Innovation and inequality in a small world［J］. International economic review，2020，61(2)：683－719.
［17］陈子凤，官建成. 国际专利合作和引用对创新绩效的影响研究［J］. 科研管理，2014，35(3)：35－42.
［18］CHEN Z，GUAN J. The impact of small world on innovation：an empirical study of 16 countries［J］. Journal of informetrics，2010，4(1)：97－106.
［19］ZHANG G，GUAN J，LIU X，et al. The impact of small world on patent productivity in China［J］. Scientometrics，2014，98(2)：945－960.
［20］FLEMING L，KING C，JUDA A I. Small worlds and regional innovation［J］. Organization science，2007，18(6)：938－954.
［21］赵良杰，宋波. 联盟网络结构和技术互依性对双元型技术联盟网络创新绩效的影响［J］. 管理学报，2015，12(4)：558－564.
［22］吴慧，顾晓敏. 产学研合作创新绩效的社会网络分析［J］. 科学学研究，2017，35(10)：1578－1586.
［23］UZZI B，SPIRO J. Collaboration and creativity：the small world problem［J］. American journal of sociology，2005，111(2)：447－504.
［24］SHI Y，GUAN J C. Small-world network effects on innovation：evidences from nanotechnology patenting［J］. Journal of nanoparticle research，2016，18(11)：329.
［25］BRAHA D，BARYAM Y. The statistical mechanics of complex product development：empirical and analytical results［J］. Management science，2007，53(7)：1127－1145.
［26］张古鹏. 小世界创新网络动态演化及其效应研究［J］. 管理科学学报，2015，18(6)：15－29.
［27］FREEMAN L C. Centered graphs and the structure of ego networks［J］. Mathematical social sciences，1982，3(3)：291－304.
［28］PHELPS C. A longitudinal study of the influence of alliance network structure and composition on firm exploratory innovation［J］. Academy of management journal，2010，53(4)：890－913.
［29］崔芳，孙笑明，熊旺，等. 关键研发者自我中心网络变化对企业创新绩效的影响：以整体网络为中介变量［J］. 科技进步与对策，2017，34(17)：80－90.
［30］ARNABOLDI V，CONTI M，LA G M，et al. Ego network structure in online social networks and its impact on information diffusion［J］. Computer communications，2016，76：26－41.
［31］SOHN D，GEIDNER N. Collective dynamics of the spiral of silence：the role of ego-network size［J］. International journal of public opinion research，2016，28(1)：25－45.
［32］BURT R S. The network structure of social capital［J］. Research in organizational behavior，2000，22(22)：345－423.
［33］FORNAHL D，BROEKEL T，BOSCHMA R. What drives patent performance of German biotech firms? the impact of R&D subsidies，knowledge networks and their location［J］. Regional science，2011，90(2)：395－418.
［34］CHANDY R，TELLIS GJ. The incumbent's curse? incumbency，size，and radical product innovation［J］. Journal of marketing，2000(64)：1－17.
［35］FILHO D V，ONEALE D R. Bipartite networks describe R&D collaboration between institutions［EB/OL］.［2021－06－26］. https://arxiv.org/abs/1909.10977.
［36］BEAUDRY C，SCHIFFAUEROVA A. Impacts of collaboration and network indicators on patent quality：the case of Canadian nanotechnology innovation［J］. European management journal，2011，29(5)：362－376.
［37］GUAN J，ZUO K，CHEN K，et al. Does country-level R&D efficiency benefit from the collaboration network structure?［J］. Research policy，2016，45(4)：770－784.
［38］BLUNDELL R，GRIFFITH R，VAN REENEN J，et al. Dynamic count data models of technological innovation［J］. The economic journal，1994，105(429)：333－344.
［39］OWENSMITH J，POWELL W W. Knowledge networks as channels and conduits：the effects of spillovers in the Boston biotechnology community［J］. Organization science，2004，15(1)：5－21.
［40］YAMAGUCHI K. The flow of information through social networks：diagonal-free measures of inefficiency and the structural determinants of inefficiency［J］. Social networks，1994，16(1)：57－86.
［41］何晓群. 应用回归分析［M］. 北京：电子工业出版社，2017.
［42］GUIMERA R，AMARAL L A. Cartography of complex networks：modules and universal roles［J］. Journal of statistical mechanics：theory and experiment，2005(P02001)：1－17.
［43］CHEN Y，JAW Y. How do business groups' small world networks effect diversification，innovation，and internationalization?［J］. Asia Pacific journal of management，2014，31(4)：1019－1044.

作者贡献说明：

关鹏：提出研究思路，负责文献调研、数据分析与论文撰写；

王曰芬：提出论文思路，指导论文修改与定稿；

傅柱：参与讨论研究思路和提出修改意见；

叶龙生：参与数据分析与模型构建。

Research on the Impact of Small-World Characteristics of Patent Cooperation Network on Enterprise Technological Innovation Performance

Guan Peng[1,2] Wang Yuefen[2] Fu Zhu[3] Ye Longsheng[1]

[1] School of Economics and Law, Chaohu University, Hefei 238024

[2] School of Economics and Management, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094

[3] School of Economics and Management, Jiangsu University of Science & Technology, Zhenjiang 212003

Abstract: [Purpose/significance] Based on the moderating effect of patent cooperation network's small-world characteristics, the paper analyzes the impact of enterprise ego-network characteristics on innovation and provides a basis for the management of firm's technological innovation. [Method/process] The paper used co-patentee relationship between enterprises to construct patent cooperation networks and measured innovation of enterprise with the number of patents application and authorization. The paper built the theoretical model, with the scale and density of enterprise ego-network, the proportion of cooperation with small companies as independent variables, with the small-world characteristics of patent cooperation network as a moderator variable. We took enterprises in the field of speech recognition technology as research samples for empirical analysis. [Result/conclusion] Through empirical analysis, this paper reveals the impact of the characteristics of ego-network on innovation of enterprises, and clarifies the mechanism of the impact of the small-world characteristics of the patent cooperation network on innovation. The research finds that the small-world characteristics enhance the negative influence of the density of the ego-network on innovative through its high clustering coefficient. Based on the results, the countermeasures and suggestions to improve innovation are put forward.

Keywords: patent cooperation network ego-network small-word technological innovation performance